

ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ СУДОВЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Развитие судовых энергетических установок неразрывно сопряжено с созданием эффективных информационно-измерительных систем (ИИС). К этим системам предъявляется требование сохранения достоверности обрабатываемой информации в экстремальных условиях окружающей среды.

В ИИС последнего поколения проблема достоверности информации все чаще решается путем широкого внедрения и использования волоконно-оптической техники [1].

Оценка количества информационных линий связи на судах показала, что от 30 до 70 % информационных электрических связей могут быть заменены на волоконно-оптические [2]. Учитывая то, что длина информационных кабелей на судах исчисляется несколькими сотнями километров, замена электрических кабелей на оптические позволяет резко сократить объемы кабельных трасс и монтажные затраты, повысить качество и надежность передачи информации в ИИС.

Активное внедрение волоконной оптики связано с необходимостью адаптации световодных элементов к судовым условиям. К числу таких элементов относятся и соединители участков оптических линий.

Анализ результатов использования на судах традиционных соединителей показал, что наблюдается явное несоответствие задекларированных и реальных таких характеристик как уровень привносимых потерь и долговременная стабильность параметров оптического тракта [3]. Причины несоответствия вызваны негативным влиянием эксплуатационных факторов на работу соединителей. Повышенная вибрация и температура вызывают смещение и изменение размеров деталей соединителя и упругости нажимных и фиксирующих элементов. Происходящие изменения индуцируют нарушение геометрии связи световодных элементов. На участках с нарушенной геометрией связи, за счет наличия перехода стекло-воздух-стекло возникают френелевские отражения, которые приводят к появлению отраженного в обратном направлении светового потока. Поток обратного отражения приводит к потерям оптической мощности и оказывает отрицательное влияние на высокоскоростные оптические передатчики. Отраженный свет, попадая обратно в резонатор, вызывает сильные искажения передаваемого сигнала [4].

Попытки минимизации обратного отражения за счет так называемого физического контакта, при котором в соединителе стекла световодов прижаты друг к другу, привели к еще большему ухудшению характеристик соединителей. В [5] определено, что в условиях знакопеременных нагрузок происходит увеличение шероховатости торцовых поверхностей сжатых в соединителе световодов. В свою очередь, увеличение шероховатости поверхности входных торцов световодов приводит к интенсивному уменьшению эффективности передачи оптического излучения в соединителе (рис. 1).

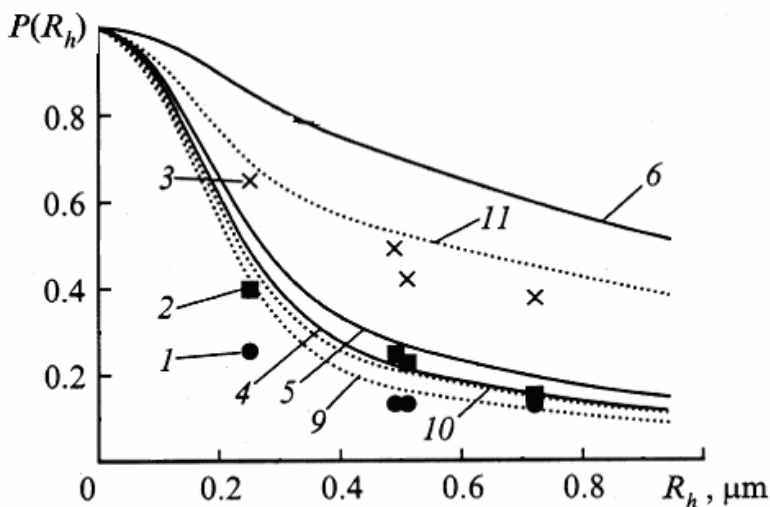


Рис. 1. Зависимость эффективности ввода $P(R_h)$ излучения в световод от среднеквадратической высоты шероховатости R_h для различных типов волокон: 1, 4, 9 – кварц-кварцевые световоды со ступенчатым профилем показателя преломления; 2, 5, 10 – кварц-кварцевые световоды с градиентным профилем; 3, 6, 11 – кварц-полимерные световоды

В итоге спецификационное время работы соединителя уменьшается на один - два порядка.

Решение задачи стабильности параметров соединителей на основе использования новых материалов, повышения уровня технологической культуры и ужесточения допусков на изготовление также оказалось неэффективным [6].

В сложившейся ситуации представляется рациональным вариант внедрения в конструкцию соединителя элементов динамической ком-

пенсации потерь оптической мощности, инициируемых под воздействием эксплуатационных факторов.

За основу устройства динамической компенсации был принят "катушечный" датчик вибрации [7]. На рис. 2, а представлен отрезок изогнутого световода такого датчика.

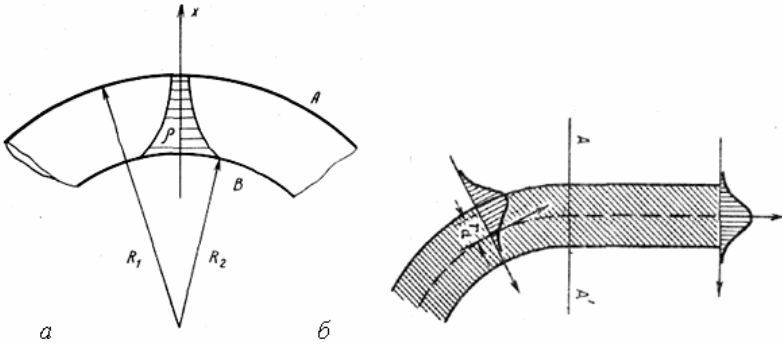


Рис. 2. Качественное представление градиента плотности световода (а) и сдвигов поля основной моды (б), обусловленных одиночным изгибом

При формировании катушки в таком световоде возникают деформации изгиба. Материал световода испытывает максимальные деформации на наружной поверхности А (большой радиус изгиба R_1) и на внутренней поверхности В (меньший радиус изгиба R_2). Деформации на внешней стороне изгиба являются деформациями растяжения, а на внутренней – деформациям сжатия, что приводит к градиенту плотности вдоль оси X [8].

Основное влияние градиента плотности световода при изгибе на поле основной моды проявляется в сдвиге распределения поля в плоскости изгиба в радиальном направлении от центра кривизны на расстояние r_d от оси световода (рис. 2, б). В этом случае переходные потери можно рассматривать как результат рассогласования в плоскости AA' между полями прямого участка световода и смещенными в радиальном направлении полями изогнутого участка световода. Наиболее адекватно описать радиальное распределение поля основной моды на этих участках возможно при помощи гауссова приближения. Тогда, в рамках гауссова приближения, поля прямого и изогнутого участков световода:

$$F_0 = \exp(-r^2/2r_0^2); \quad (1)$$

$$F_0 = \exp[-(r-r_d)^2/2r_0^2], \quad (2)$$

где $r_d = V^2 \rho^2 (r_0 / \rho)^4 / 2\Delta R_c$ – сдвиг поля в радиальном направлении; r_0 – размер пятна моды; R_c – радиус изгиба; V – волноводный параметр; ρ – радиус сердцевинки световода; Δ – параметр высоты профиля.

Выражения (1) и (2) указывают что, потери при изгибе волокна будут полностью эквивалентны потерям, возникающим при возбуждении световода смещенным гауссовым пучком [9].

В итоге для одномодового световода часть излученной мощности при $r_d \ll r_0^2$

$$1 - \frac{P_0}{P_i} \approx \left(\frac{\rho}{R_c} \right)^2 \left(\frac{r_0}{\rho} \right)^6 \frac{V^4}{8\Delta^2}, \quad (3)$$

где P_0 – мощность на входе в световод; P_i – мощность на выходе из световода.

Таким образом, радиус световодной катушки можно рассматривать как показатель, характеризующий потери мощности на излучение.

Для физической реализации этого вывода была предложена следующая конструкция волоконно-оптического соединителя (рис. 3).

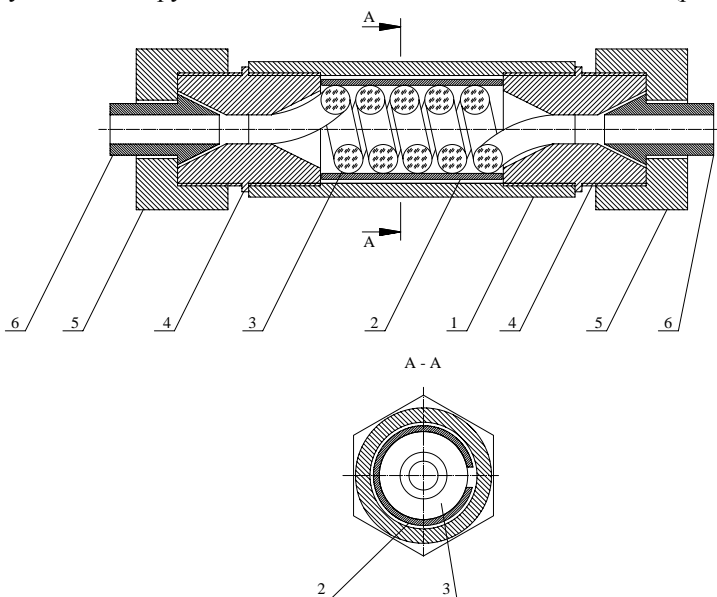


Рис. 3. Волоконно-оптический соединитель (разрез в диаметральной плоскости): 1 - корпус, 2 - биметаллическая вставка, 3 - катушка, 4 – центрирующая втулка, 5 - гайка, 6 – направляющий конус для световода

Основой устройства является корпус, в котором встроена цилиндрическая разрезная биметаллическая вставка. Вставка, вместе с расположенной в ней катушкой волоконного световода, фиксируется в корпусе двумя центрирующими втулками. К втулкам нажимными гайками присоединяются направляющие конуса для внешних световодов.

В стандартных условиях эксплуатации катушка сжата вставкой, которая вызывает заранее учтенное снижение уровня оптического излучения в соединителе. Под влиянием роста температуры геометрия разрезной втулки изменяется, что в свою очередь вызывает частичное восстановление условий полного внутреннего отражения света в световоде, из которого образована катушка. Восстановление условий внутреннего отражения вызывает уменьшение потерь оптического излучения в катушке [10].

Как показали эксперименты снижение интенсивности излучения, обусловленное нарушением геометрии расположения световодов в соединителе вследствие теплового распространения его деталей, компенсируется в динамическом режиме корректирующим элементом – парой катушка- биметаллическая вставка в диапазоне температур 293 ... 323 К (рис. 4).

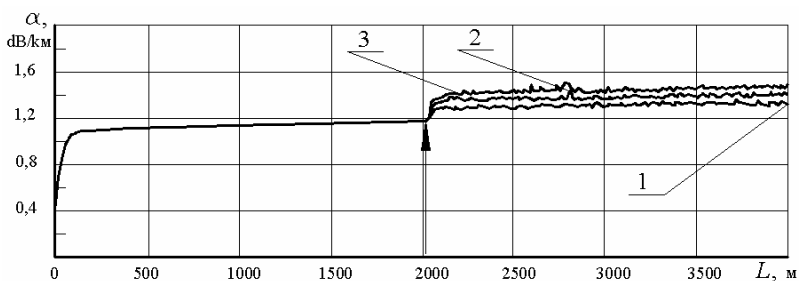


Рис. 4. Рефлектограмма испытаний макета соединителя: 1 – 293 К; 2 – 308 К; 3 – 323 К (стрелкой указано расположение соединителя)

Величина коэффициента обратного отражения в соединителе, при соединении одномодовых волокон, не превышает – 26 дБ, что соответствует требованию стандарта на оптические соединители Т1А/Е1А-568А [4].

Наряду с соответствием оптических характеристик стандарту, конструкция соединителя также отвечает требованиям, предъявляемым к изделиям этого типа в части простоты изготовления, установки, сборки и разборки. Это достигнуто путем широкого использования в разработке деталей соединителей и волоконных датчиков, освоенных

промышленностью. Использование в соединителе световодных катушек из германосиликатных или халькогенидных световодов позволит существенно расширить температурный диапазон работы соединителя.

Таким образом, соединитель предлагаемой конструкции может быть эффективно использован для повышения помехозащищенности судовых ИИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сандлер, А.К., Никольский, В.В., Хнюнин, С.Г. Использование волоконно-оптических устройств для предотвращения техногенных катастроф на судах // Автоматизация судовых технических средств. – Одесса: ОНМА. – 2004. – Вып. 9. – С. 82 - 90.

2. Червяков, В.В., Ларин, Ю.Т. Пассивные компоненты для общекорабельных информационных сетей на основе волоконно-оптической техники. // Фотон-экспресс. – 2006. – № 3. – С. 80 - 85.

3. Пикарников, В.П., Червяков, В.В., Вековищев, В.С. Испытания трасс оптических кабелей на виброустойчивость // Судостроение. – 1989. – № 5. – С. 31 - 32.

4. Семенов, А.Б. Волоконная оптика в локальных и корпоративных сетях связи. - М.: Компьютерпресс, 1998. - 302 с.

5. Кизеветгер, Д.В., Малогин, В.И. Влияние дефектов торцевой поверхности световода на эффективность ввода излучения // ЖТФ. - 2002. - Т. 72. - Вып. 9. - С. 80 – 86.

6. Стерлинг, Д.Д. Техническое руководство по волоконной оптике. - М.: ЛОРИ, 1998. - 288 с.

7. Сандлер, А.К., Дрозд, Е.В. Диагностирование судовых грузо-подъемных средств с помощью волоконной оптики // Автоматизация судовых технических средств. – Одесса: ОНМА. – 2005. – Вып. 10. – С. 70 - 75.

8. Гуляев, Ю.В., Меш, М.Я., Проклов, В.В. Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение. - М.: Радио и связь, 1991. - 150 с.

9. Снайдер, А., Лав, Д. Теория оптических волноводов. - М.: Радио и связь, 1987. - 656 с.

10. Сандлер, А.К. Волоконно-оптический термометр. Декларацийний патент України № 10149, МПК 7G01M11/00.– опубл. 15.11.2005, бюл. № 11.